

グラファイトシート上に展開される エレクトロニクスの新領域

研究代表者

藤岡 洋

Hiroshi Fujioka

東京大学生産技術研究所 教授



はじめに

今日の情報化社会の基礎となるエレクトロニクスは集積回路や発光ダイオード、レーザー、太陽電池といった半導体の素子を組み合わせることによって実現されています。これらの半導体素子は半導体の原子が規則正しく並んだ半導体単結晶基板の上に回路を刻み込んで製造されています。しかしながら、半導体の単結晶基板には高価である、硬くて脆い、面積が小さいといった問題点があり、素子としての応用範囲が極めて限られていました。我々は最近、グラファイトのシートの上に単結晶と呼べるほど高品質な半導体の薄い膜が成長できることを見出しました。グラファイトシートには安価で容易に面積を大きくできるという特徴がありますので、この特徴を生かせば、従来に無い大面積半導体素子を安価に作るができると考えられます。

グラファイトシート上への半導体の成長

今回、我々是有機ポリマーを焼結して作製したフレキシブルなグラファイトフィルムの上に、パルスパタック堆積法と呼ばれる量産性の高い手法を用いて窒化ガリウムを成長することにより、有機物の柔軟性と無機の高い電子物性を併せ持った新しいハイブリッド構造を開発しました。ポリマーを高温で焼結したグラファイトシートは、結晶の特徴的な軸(c軸)がフィルムの厚み方向に揃った熱伝導特性・電気伝導性の高い柔軟なフィルムで、表面が原子レベルで平坦であることから結晶成長の基板に適した材料です。今回実際に、ポリマーを出発材料として作製したグラファイトシート上に窒化ガリウム半導体薄膜をパルスパタック堆積法という手法で成長し、X線回折などの手法を用いて評価したところ、図1に示すようにグラファイト上に窒素原子とガリウム原子が綺麗に配列した高品質な窒化ガリウム薄膜が得られていることが確かめられました。

グラファイトシート上への発光素子の作製

また、この窒化ガリウムの光励起発光スペクトルを測定したところ、LEDなどの素子に実際に使われている薄膜と遜色ない高い品質を持っていることが確認されました。(図2, 3)このスペクトルには結晶欠陥に起因するエネルギーの低い発光も検出されませんでした。今回開発した技術を用いれば、効率の高いフレキシブル照明素子や高性能ディスプレイが安価に実現すると考えられ、省エネルギー社会を実現するキー・テクノロジーとして大いに期待が持てます。また、電気自動車などのエネルギー効率を向上させるパワーエレクトロニクス材料としても利用が可能と考えられます。

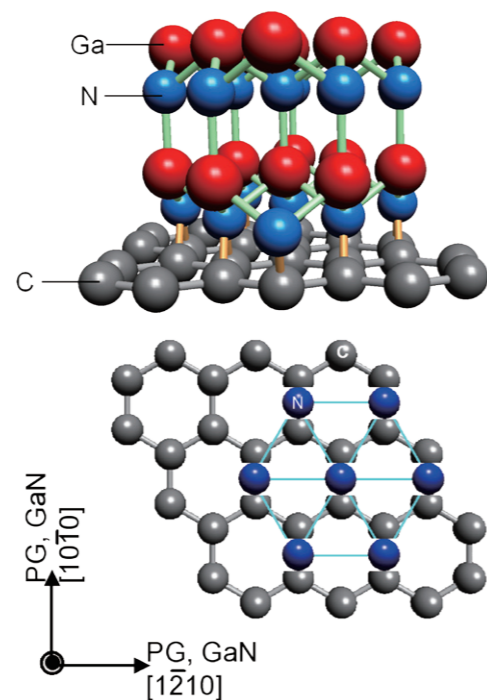


図1 有機ポリマーを焼結して作製したグラファイトシートと窒化ガリウムの結合の様子。炭素の六角形の原子配列間に窒素の六角形が乗るため高品質な窒化ガリウムが実現できる。

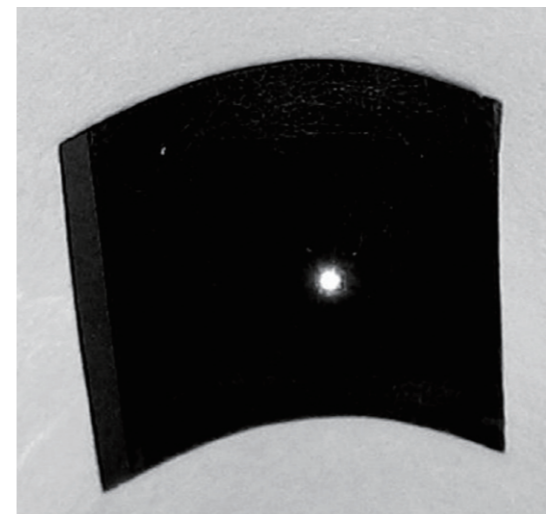


図2 有機ポリマーを出発材料として作製した窒化ガリウムフィルムからの光励起発光。フレキシブルなグラファイトシート上窒化ガリウム薄膜からの強い発光が観測された。

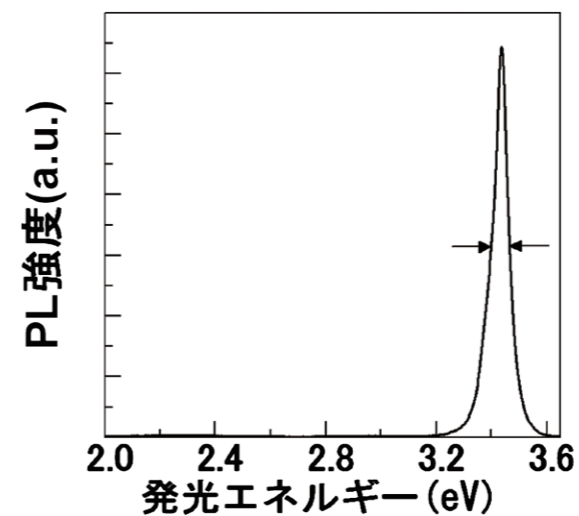


図3 有機ポリマー焼結グラファイトシート上に成長した窒化ガリウムからの光励起発光スペクトル。従来手法を用いてサファイア基板上に作製した窒化ガリウムからの発光と遜色のない優れた発光特性が得られている。

今後の展開

このグラファイトシート上に作製した半導体デバイスは安価、大面積といった特徴を持っています。またグラファイトシートと半導体は性質が大幅に異なるので容易に分離することができます。従って、グラファイト上の半導体デバイスを板状の材料に貼り付けて、グラファイトを除去すれば、あらゆる材料に演算や記憶、発光、通信、発電などの新しい機能を持たせることができます。特に、この半導体転写技術をポリマーフィルムに適用すれば軽量かつ柔軟、透明といった今までに無い特徴を持つエレクトロニクス素子を大面積で生産できるようになると考えられます。本プロジェクトの成果によって現在のエレクトロニクスの抱える単結晶半導体基板の使用という制約を取り除けば、ガラスや建物、衣類、プラスチックといったあらゆる物質に計算機能や通信機能、表示機能、発電機能を与えることができ、自由度の高い「フレキシブル」な真のユビキタス・エレクトロニクスが実現すると考えています。(図4)



図4 グラファイトシートを用いて作製されたフレキシブルデバイスのイメージ図。

参考文献

K. Sato, J. Ohta, S. Inoue, A. Kobayashi, and H. Fujioka, Appl. Phys. Express 2 011003 (2009).